



DEUTSCHES
PATENTAMT

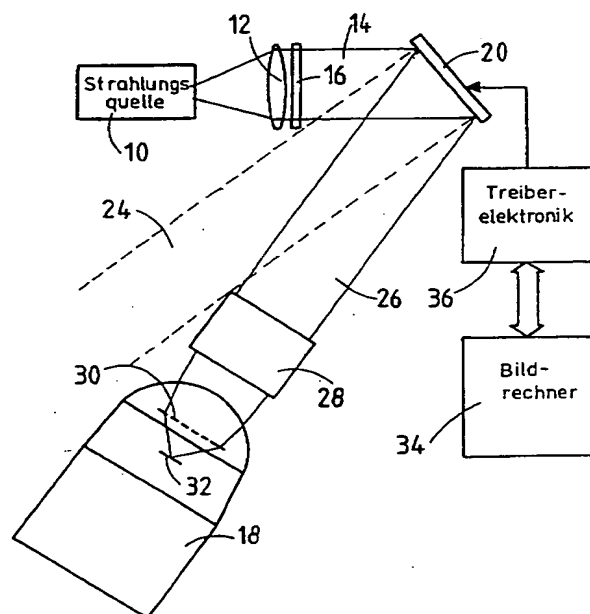
71 Anmelder:
Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH, 88662
Überlingen, DE

74 Vertreter:
Weisse, J., Dipl.-Phys.; Wolgast, R., Dipl.-Chem. Dr.,
Pat.-Anwälte, 42555 Velbert

72 Erfinder:
Bross, Walter, 88662 Überlingen, DE; Uwira, Bernd,
Dr., 78464 Konstanz, DE

54 Szenensimulator, insbesondere zum Testen von Infrarot-Sensoren in Zielsuchköpfen

57 Ein Szenensimulator zur Erzeugung von Bildinformationen in Echtzeit für den Test von bildauflösenden Sensoren, insbesondere zum Testen von Infrarot-Sensoren in Zielsuchköpfen, enthält ein mikromechanisches Spiegelarray (20), das aus einer zweidimensionalen Anordnung von Spiegelementen (22) besteht, welche ansteuerbar zwischen einer ersten und einer zweiten Schaltstellung beweglich sind. Durch eine Beleuchtungseinrichtung (10) ist das Spiegelarray (20) gleichmäßig ausleuchtbar. Das Licht der Beleuchtungseinrichtung (10) wird in der ersten Schaltstellung eines Spiegelements (22) an einem zu testenden Sensor (32) vorbeigeleitet und in der zweiten Schaltstellung von dem Spiegelement (22A) in den Strahlengang (26) des Sensors (32) reflektiert. Ansteuerermittel (34, 36) dienen zum Ansteuern der Spiegelemente (22) in die erste oder zweite Schaltstellung derart, daß der zu testende Sensor eine simulierte Objektszene beobachtet.



Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von Bildinformationen in Echtzeit für den Test von bildauflösenden Sensoren, insbesondere zum Testen von Infrarot-Sensoren in Zielsuchköpfen.

Es ist bekannt, bildauflösende Infrarot-Sensoren, insbesondere in Infrarot-Zielsuchköpfen, anhand von simulierten Objektszenen unter dynamischen Bedingungen zu testen. Das geschieht in sog. HIL-Anlagen (Hardware-in-the Loop). Dabei wird der Flug eines Lenkflugkörpers vom Start bis zur Annäherung an das Ziel simuliert. Vom Suchkopf aus wird das als eine "Bildexplosion" gesehen: Ein simuliertes Objekt wird vom Suchkopf aus gesehen bei der Annäherung immer größer. Die während des Fluges auftretende Szenenfolge muß in Echtzeit simuliert werden, d. h. mit Bildfolgefrequenzen, die eine quasi-kontinuierliche Darstellung erlauben.

Bei der Darstellung der Objekt- oder Zielszene im infraroten Spektralbereich, wie sie für Infrarot-Zielsuchköpfe erforderlich ist, wird eine hohe Auflösung verlangt. Die Simulation muß die Darstellung einer hohen Dynamik der Strahlungspegel in den einzelnen Bildelementen (Pixeln) gestatten. Die Strahlungspegel müssen in einem großen Bereich variieren können. Typischerweise sollte der maximale in einer Objektszene darstellbare Strahlungspegel um einen Faktor 2000 höher sein als der darstellbare minimale Strahlungspegel. Die Strahlungspegel, und zwar auch die hohen Strahlungspegel, müssen innerhalb weniger Millisekunden aufgebaut und wieder abgebaut werden können. Dabei kann durchaus der maximale Strahlungspegel in unmittelbarer Nachbarschaft des minimalen Strahlungspegels zu liegen kommen. Der Vermeidung von Übersprechen kommt daher besondere Bedeutung zu. Solche starken Änderungen des Strahlungspegels sind insbesondere zur Darstellung von Störstrahlern (Flares) erforderlich.

Die Darstellung von schnell veränderlichen oder beweglichen Objekten wie modulierten Störstrahlern (Jammers) oder Rotorblättern von Hubschraubern erfordert außerdem eine hohe zeitliche Dynamik, d. h. geringe Zeitkonstanten beim Anstieg und Abklingen der Strahlung.

Es ist bekannt, bei Infrarot-Szenensimulatoren die Bildinformation im infraroten Spektralbereich durch punktuell aufheizen von Widerständen und Folien zu erzeugen. Die auf diese Weise darstellbare Dynamik in den Signalpegeln und den Zeitkonstanten erreicht jedoch bei den bekannten Anordnungen dieser Art keinesfalls die geforderten Werte. Es tritt auch ein unerwünscht starkes Übersprechen auf. Die Wärmeenergie zur Erzeugung der infraroten Strahlung tritt innerhalb der die Objektszene darstellenden Bildmatrix auf. Diese Wärmeenergie verteilt sich über die Bildmatrix hinweg. Das führt zu störenden Übersprechsignalen. Diese Übersprechsignale müssen bei den bekannten Infrarot-Szenensimulatoren durch aufwendige und schwere Kühlvorrichtungen gedämpft werden. Das erschwert die Montage des Infrarot-Szenensimulators auf einem Zielbewegungsrahmen, wie er bei HIL-Anlagen üblicherweise vorgesehen ist.

Es ist weiterhin bekannt, die Bildinformation durch einen Laser zu erzeugen, dessen Lichtbündel eine zweidimensionale Abtastbewegung ausführt. Zu diesem Zweck wird das Lichtbündel über ein Spiegelsystem geleitet. Ein solches Spiegelsystem muß sehr schnell sein. Das Spiegelsystem ist daher recht aufwendig. Auch hier ist die darstellbare Dynamik der Strahlungspegel be-

grenzt. Die Synchronisation der Bewegung des von dem Lichtbündel erzeugten Lichtflecks mit dem zu testenden Zielsuchkopf bietet Probleme.

Durch die EP-A-0 469 293 ist ein bistabiles, verformbares Spiegelarray bekannt, das von einzelnen, pixelartigen Spiegelementen gebildet ist. Die einzelnen Spiegelemente sind jeweils schwenkbar angelenkt und durch Steuersignale in eine erste oder eine zweite Stellung verschwenkbar.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem im infraroten Spektralbereich arbeitenden Szenensimulator eine hohe Dynamik der Strahlungspegel und geringe Zeitkonstanten zu erreichen. Das Übersprechen zwischen benachbarten Bildelementen soll weitgehend gedämpft werden. Das Gewicht des Szenensimulators soll vermindert werden, so daß der Szenensimulator in einer HIL-Anlage mit hoher Dynamik verschwenkt werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch

- (a) ein mikromechanisches Spiegelarray, das aus einer zweidimensionalen Anordnung von Spiegelementen besteht, welche ansteuerbar zwischen einer ersten und einer zweiten Schaltstellung beweglich sind,
- (b) eine Beleuchtungseinrichtung
 - durch welche das Spiegelarray gleichmäßig ausgeleuchtet ist und
 - deren Licht in der ersten Schaltstellung eines Spiegelements an einem zu testenden Sensor vorbeigeleitet wird und in der zweiten Schaltstellung von dem Spiegelement in den Strahlengang des Sensors reflektiert wird,
- (c) Ansteuermittel zum Ansteuern der Spiegelemente in die erste oder zweite Schaltstellung derart, daß der zu testende Sensor eine simulierte Objektszene beobachtet.

Es ist dabei eine ständig strahlende Lichtquelle vorgesehen, die z. B. infrarote Strahlung aussendet. Das Bild wird dadurch erzeugt, daß mittels der Ansteuermittel verschiedene Spiegelemente des Spiegelarrays aus der ersten in die zweite Schaltstellung geschwenkt werden. In der ersten Schaltstellung leiten die Spiegelemente die Strahlung an dem zu prüfenden, bildauflösenden Sensor vorbei. Diese Spiegelemente "sehen" der Sensor als "kalt". In der zweiten Schaltstellung wird die von der Lichtquelle auf das Spiegelement fallende Licht auf ein zugeordnetes Detektorelement des bildauflösenden Sensors geleitet. Dann sieht der Sensor das Spiegelement als "heiß".

Bei einer solchen Anordnung erfolgt praktisch kein Übersprechen. Das Spiegelarray gestattet eine hohe Auflösung. Mikromechanische Spiegelarrays können beispielsweise mit 2048×2048 Spiegelementen aufgebaut sein, wobei die Kantenlänge jedes Spiegelements 20 µm beträgt. Die Umschaltung der Spiegelemente kann mit einer sehr kleinen Zeitkonstante erfolgen. Eine solche Anordnung gestattet weiterhin durch geeignete Ansteuerung der Spiegelemente auch eine Änderung des Strahlungspegels in sehr weiten Grenzen.

Die Änderung des Strahlungspegels eines simulierten Objekts kann dadurch erfolgen, daß der zu testende bildauflösende Sensor Detektorelemente aufweist, welche die darauffallende Strahlungsenergie jeweils über eine Integrationszeit aufsummieren und im Takt dieser Integrationszeit ausgelesen werden, die Spiegelemente im Takt mit einer Taktzeit ansteuerbar sind, die we-

sentlich kürzer als die Integrationszeit der Detektorelemente des Sensors ist und die Anzahl der Takte, in welcher während jeder Integrationszeit Spiegelemente durch die Ansteuerungsmittel in den zweiten Schaltzustand geschaltet sind, zur Variation der simulierten Objektintensität veränderbar ist.

Statt dessen oder zusätzlich dazu ist es möglich, daß der zu testende bildauflösende Sensor Detektorelemente aufweist, die von der Strahlung der Beleuchtungseinrichtung über eine Mehrzahl von Spiegelementen des Spiegelarrays beaufschlagbar sind, und die Anzahl der einem Detektorelement zugeordneten Spiegelemente, welche durch die Ansteuerungsmittel in den zweiten Schaltzustand geschaltet sind, zur Variation der simulierten Objektintensität veränderbar ist.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt schematisch einen Infrarot-Szenensimulator mit einem zu testenden Zielsuchkopf eines Lenkflugkörpers.

Fig. 2 zeigt einen Teil eines Spiegelarrays, der auf ein Detektorelement eines in dem Zielsuchkopf sitzenden bildauflösenden Sensors abgebildet wird, also einem Pixel entspricht, bei der Simulation eines Objekts mit minimalem Strahlungspegel.

Fig. 3 zeigt die Ansteuersignale für eine Zeile des Spiegelarrays, in welcher ein einziges Spiegelement Licht auf den Sensor des zu testenden Zielsuchkopfs reflektiert und für die anderen Zeilen, in denen alle Spiegelemente das einfallende Licht an dem Zielsuchkopf vorbeireflektieren.

Fig. 4 zeigt den Teil des Spiegelarrays von Fig. 2 bei der Simulation eines Objekts mit maximalem Strahlungspegel.

Fig. 5 zeigt die Ansteuersignale für die Zeilen des Spiegelarrays, wenn sich dieses im Zustand von Fig. 4 befindet.

In Fig. 1 ist mit 10 eine Strahlungsquelle zur Erzeugung einer intensiven infraroten Strahlung bezeichnet. Die Strahlung der Strahlungsquelle 10 wird mittels einer Kollimatorlinse 12 parallelgerichtet. In dem so gebildeten parallelen Lichtbündel 14 sitzt hinter der Kollimatorlinse 12 ein Spektralfilter 16. Das Spektralfilter 16 begrenzt die Strahlung des Lichtbündels 14 auf die spektrale Bandbreite eines zu testenden Zielsuchkopfs 18.

Das parallele Lichtbündel 14 fällt unter einem Winkel auf ein mikromechanisches Spiegelarray 20. Das mikromechanische Spiegelarray ist nach Art der EP-A-0 469 293 ausgebildet. Solche mikromechanischen Spiegelarrays sind von der Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas unter der Bezeichnung "Digital Micromirror Device" oder DMD handelsüblich erhältlich. Das mikromechanische Spiegelarray 20 ist eine zweidimensionale Anordnung von Spiegelementen 22 (Fig. 2). Jedes der Spiegelemente 22 kann durch ein binäres Ansteuersignal zwischen einer ersten und einer zweiten Schaltstellung geschaltet werden. Das Spiegelarray enthält 2048×2048 Spiegelemente 22. Jedes Spiegelement 22 ist quadratisch mit einer Kantenlänge von $20 \mu\text{m}$. Durch ein Ansteuersignal "0" wird das Spiegelement 22 in seine erste Schaltstellung gebracht, in welcher es das von der Strahlungsquelle 10 einfallende Licht in Richtung des in Fig. 1 gestrichelt dargestellten Strahlenbündels 24 reflektiert. Durch ein Ansteuersignal "1" wird das Spiegelement 22 in seine zweite Schaltstellung gebracht, in welcher es das von

der Strahlungsquelle 10 einfallende Licht in Richtung auf den zu testenden Suchkopf 18 reflektiert. Das Licht wird in Richtung des parallelen Strahlenbündels 26 gelenkt.

Das Strahlenbündel 26 wird durch eine Zwischenoptik 28 das abbildende optische System 30 des Zielsuchkopfs 18 geleitet. Das abbildende optische System erzeugt ein Bild des Spiegelarrays 20 auf einem bildauflösenden Sensor 32. Das abbildende optische System des Zielsuchkopfs 18 ist so ausgelegt, daß es im normalen Betrieb eine im Unendlichen liegende Objektszene auf dem bildauflösenden Sensor 32 abbildet. Die Zwischenoptik 28 sorgt dafür, daß der Sensor 32 das im Endlichen liegende Spiegelarray 20 im Unendlichen "sieht".

Die Ansteuersignale für die verschiedenen Spiegelemente 22 werden von einem Bildrechner 34 bestimmt. Über eine Treiber-Elektronik 36 werden die Spiegelemente 22 entsprechend angesteuert.

Der bildauflösende Sensor 32 ist ein Matrixdetektor mit einer zweidimensionalen Anordnung von 64×64 Detektorelementen. Solche Matrixdetektoren sind an sich bekannt und daher hier nicht im einzelnen beschrieben. Für einen solchen Sensor 32 reicht in der Signalverarbeitung ein Zielsimulator mit 128×128 Bildelementen aus. In einem mikromechanischen Spiegelarray 20 mit 2048×2048 Spiegelementen 22 können dann jeweils 16×16 solche Spiegelemente zu einem Pixel zusammengefaßt werden. Diese 16×16 "Sub-Matrix" wird auf ein zugeordnetes Detektorelement abgebildet. Jedes Pixel enthält somit 256 Spiegelemente 22.

Anhand von Fig. 2 bis 5 ist erläutert, wie durch die räumliche Ansteuerung der Spiegelemente 22 der Strahlungspegel eines Pixels verändert werden kann.

In Fig. 3 und 4 ist eine Sub-Matrix 38 des Spiegelarrays 20 dargestellt. Die Sub-Matrix 38 enthält 16×16 Spiegelemente des Spiegelarrays 20. Die Sub-Matrix 38 ist vollständig auf ein zugeordnetes Detektorelement des bildauflösenden Sensors 32 abgebildet. Andere Sub-Matrizen sind in nicht dargestellter Weise auf andere Detektorelemente des Spiegelarrays abgebildet. Die Sub-Matrix 38 entspricht daher einem von dem Detektorelement erfaßten Bildelement (Pixel).

Diese Sub-Matrix 38 kann nun so angesteuert werden, daß sich nur ein einziges Spiegelement 22A in dem zweiten Schaltzustand befindet. Dann fällt auf das Detektorelement nur diejenige infrarote Strahlung von der Strahlungsquelle 10, die über dieses Spiegelement 22A geleitet wird. Alle anderen Spiegelemente 22 der Sub-Matrix 38 sind im ersten Schaltzustand und reflektieren keine Strahlung von der Strahlungsquelle 10 auf den Sensor 32. In Fig. 3 ist schematisch das Ansteuersignal 40 dargestellt, das auf die Spiegelemente der das Spiegelement 22A enthaltenden Zeile der Sub-Matrix 38 aufgeschaltet ist, im Gegensatz zu den Ansteuersignalen 42 einer anderen Zeile, in welcher alle Spiegelemente 22 sich im ersten Schaltzustand befinden. Die Kurve 40 entspricht dem untersten auf diese Weise darstellbaren Signalpegel.

Die Sub-Matrix 38 kann -als anderes Extrem- so angesteuert werden, daß sich alle 256 Spiegelemente 22 im zweiten Schaltzustand befinden. Das ist in Fig. 4 dargestellt. Jede der sechzehn Zeilen erhält Ansteuersignale 44 (Fig. 5). Das entspricht dem maximalen auf diese Weise darstellbaren Signalpegel. Dazwischen können 256 Stufen des Signalpegels für das betreffende Pixel dargestellt werden.

Die einzelnen Spiegelemente 22 können typischerweise innerhalb von 10 Mikrosekunden geschaltet wer-

den. Die darstellbare Vollbildfrequenz beträgt daher etwa 100 Kilohertz.

Bei bildauflösenden Sensoren in Zielsuchköpfen werden in der Regel integrierende Detektorelemente verwendet. Die Detektorelemente integrieren die durch die einfallende Strahlung erzeugten Signale (Stöme) über eine vorgegebene Integrationsperiode auf und werden dann ausgelesen. Diese Integrationsperiode beträgt typischerweise zwischen 80 Mikrosekunden und einer Millisekunde. Innerhalb einer Integrationsperiode des Detektorelements liegen somit 8 bis 100 Schaltzyklen des mikromechanischen Spiegelarrays 20. Die auf ein Detektorelement während jeder Integrationsperiode fallende Strahlung kann daher auch dadurch variiert werden, daß die einzelnen Spiegelemente 22 der Sub-Matrix 38 für unterschiedlich viele Schaltzyklen des mikromechanischen Spiegelarrays 20 in den zweiten Schaltzustand gebracht werden. Es können auf diese Weise zu den 256 Stufen, die sich aus der Anzahl der aktivierten Spiegelemente der Sub-Matrix ergeben bis zu einhundert zusätzliche Zwischenstufen erzeugt werden. Damit kann eine Signaldynamik von bis zu 25 600 erreicht werden. Das niedrigste Signal wird erhalten, wenn ein einziges Spiegelement 22 für nur einen Schaltzyklus von hundert Schaltzyklen des Spiegelarrays 20 in den zweiten Zustand gebracht wird. Das maximale Signal des Detektorarrays wird erhalten, wenn nach Art von Fig. 4 alle Spiegelemente 22 für alle einhundert Schaltzyklen des Spiegelarrays 20 im zweiten Schaltzustand sind. Die dabei während jeder Integrationsperiode auf das Detektorelement fallenden Strahlungsmengen und dementsprechend die ausgelesenen Signale verhalten sich wie 1 : 25 600.

Da das mikromechanische Spiegelarray die auftretende Strahlung reflektiert, tritt keine unerwünschte Aufheizung des mikromechanischen Spiegelarrays 20 auf. Aufwendige und schwere Kühlsysteme sind nicht erforderlich. Das System ist daher mit geringem Gewicht realisierbar.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Bildinformationen in Echtzeit für den Test von bildauflösenden Sensoren, insbesondere zum Testen von Infrarot-Sensoren in Zielsuchköpfen, gekennzeichnet durch

- (a) ein mikromechanisches Spiegelarray (20), das aus einer zweidimensionalen Anordnung von Spiegelementen (22) besteht, welche ansteuerbar zwischen einer ersten und einer zweiten Schaltstellung beweglich sind,
- (b) eine Beleuchtungseinrichtung (10) — durch welche das Spiegelarray (20) gleichmäßig ausleuchtbar ist und — deren Licht in der ersten Schaltstellung eines Spiegelements (22) an einem zu testenden Sensor (32) vorbeigeleitet wird und in der zweiten Schaltstellung von dem Spiegelement (22A) in den Strahlengang (26) des Sensors (32) reflektiert wird,
- (c) Ansteuermittel (34, 36) zum Ansteuern der Spiegelemente (22) in die erste oder zweite Schaltstellung derart, daß der zu testende Sensor eine simulierte Objektszene beobachtet.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

- (a) der zu testende bildauflösende Sensor (32)

Detektorelemente aufweist, welche die darauf fallende Strahlungsenergie jeweils über eine Integrationszeit aufsummieren und im Takt dieser Integrationszeit ausgelesen werden,

(b) die Spiegelemente (22) im Takt mit einer Taktzeit ansteuerbar sind, die wesentlich kürzer als die Integrationszeit der Detektorelemente des Sensors ist und

(c) die Anzahl der Takte, in welcher während jeder Integrationszeit Spiegelemente (22) durch die Ansteuermittel (34, 36) in den zweiten Schaltzustand geschaltet sind, zur Variation der simulierten Objektintensität veränderbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß

(a) der zu testende bildauflösende Sensor (32) Detektorelemente aufweist, die von der Strahlung der Beleuchtungseinrichtung (10) über eine Mehrzahl (38) von Spiegelementen (22) des Spiegelarrays (20) beaufschlagbar sind, und

(b) die Anzahl der einem Detektorelement zugeordneten Spiegelemente (22), welche durch die Ansteuermittel (34, 36) in den zweiten Schaltzustand geschaltet sind, zur Variation der simulierten Objektintensität veränderbar ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

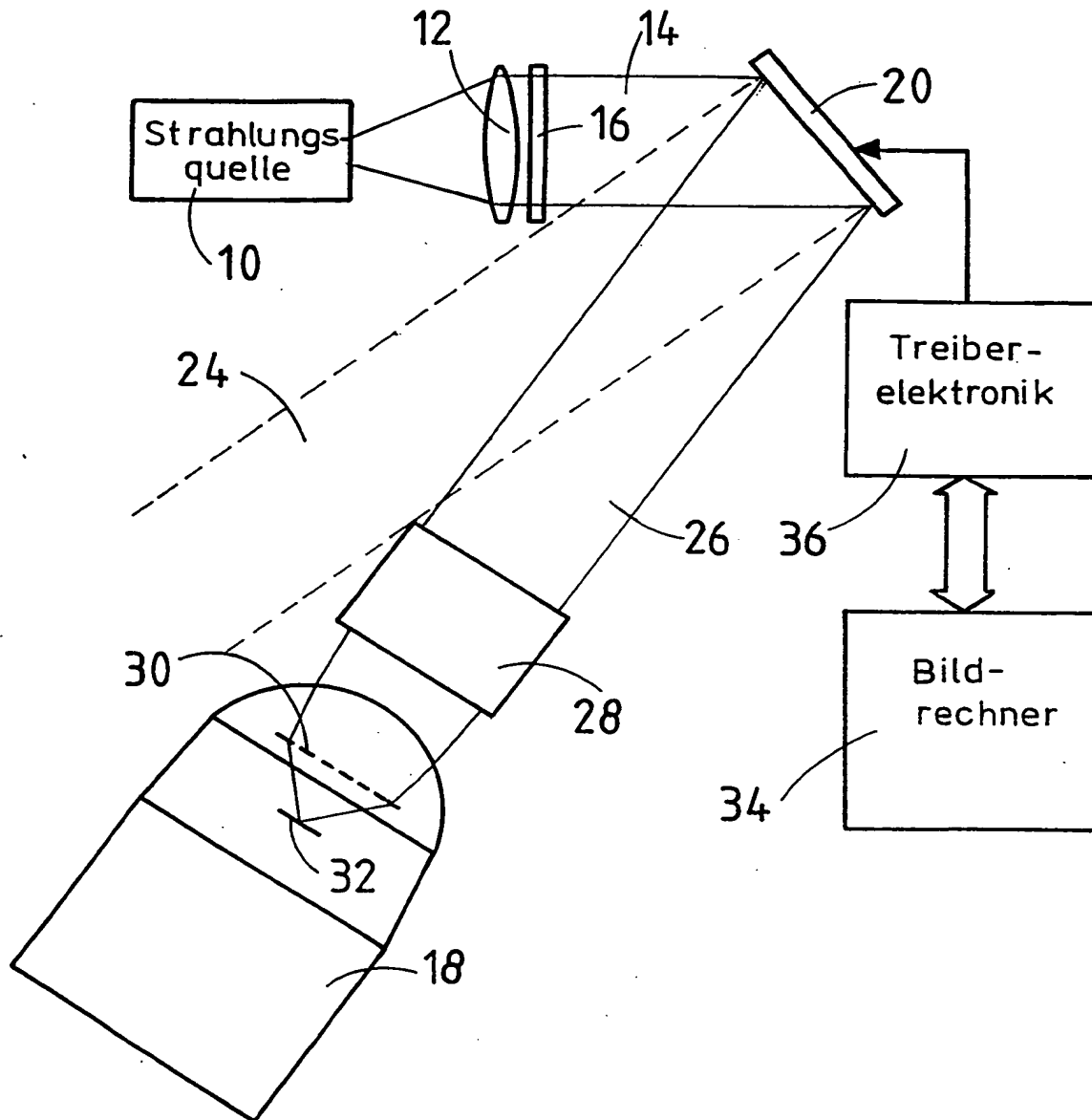


Fig. 1

